

Instrumentación de la calidad en frutas y hortalizas frescas

PILAR BARREIRO Y MARGARITA RUIZ-ALTISENT
Dr Ingeniero Agrónomo y Profesora titular del Departamento de Ingeniería Rural
labpropfis@iru.etsia.upm.es

Salvo algunos parámetros como el diámetro de los frutos o la proporción de daños admisibles, otros criterios de calidad son estrictamente subjetivos, por lo que es necesario objetivizar las pruebas



Calidad según la normativa y calidad de consumo

La normativa actual para frutas y hortalizas frescas es vaga en la definición de la calidad: frutos sanos, exentos de plagas y de daños por plagas, exentos de humedad, olor y sabores extraños. Tan solo aquellos aspectos fácilmente mensurables como el calibre del fruto y el tamaño máximo de los daños externos aparecen claramente acotados. En algunos casos específicos como las variedades bicolor de manzana, y las especies con *russetting* como

característica varietal, la distribución superficial de estos fenómenos figura regulada por la normativa.

La calidad como aceptabilidad por parte del consumidor de un determinado producto está integrada por distintos aspectos recogidos por los sentidos: vista (color y defectos), olfato (aroma y 'flavor'), tacto (manual y bucal), oído (tacto y durante la masticación) y gusto (sabor).

Todos los aspectos de la calidad, tanto externos como internos, son contemplados y valorados por el consumi-

La responsabilidad por la calidad de cualquier producto corresponde al productor. Pero éste sólo puede asumirla si el producto que llega al punto de venta está debidamente etiquetado e identificado.

dor a la hora de decidir sobre la adquisición de un producto para consumo en fresco. La imposibilidad de establecer el sabor y la consistencia *a priori* hacen que el consumidor compre sobre la base de experiencias anteriores y esta-

blezca asociaciones de ideas (i.e. verde — inmaduro, ácido) que son difíciles de modificar posteriormente.

Por otra parte, la cada vez más frecuente incorporación al mercado de productos no típicos del lugar de consumo, hacen que el consumidor se sienta desconcertado e indeciso al haber perdido las claves que tradicionalmente empleaba en la decisión de compra. Es imprescindible, por tanto, incorporar en el etiquetado datos fiables relativos al sabor y a la consistencia que ayuden al consumidor en la adquisición del producto.

Usuarios Potenciales

Todos los componentes constitutivos de la cadena comercial son usuarios potenciales de los instrumentos y equipos para la determinación de la calidad en frutas y hortalizas: cooperativas de producción/productores, cooperativas de segundo grado/distribuidores, almacenistas, mayoristas y minoristas.

Todos los participantes de la cadena comercial son usuarios de este tipo de instrumentos de medida. Es la presión existente por parte de estos sectores la que impulsa los esfuerzos técnicos por resolver estos problemas

De hecho, es la presión existente por parte de estos sectores la que ha impulsado e impulsa los esfuerzos técnicos en este sentido ante la necesidad de dirimir de forma objetiva los conflictos proveedor/cliente. Otro conjunto de posibles usuarios lo constituyen tanto las compañías de seguros agrarios como los centros tecnológicos.

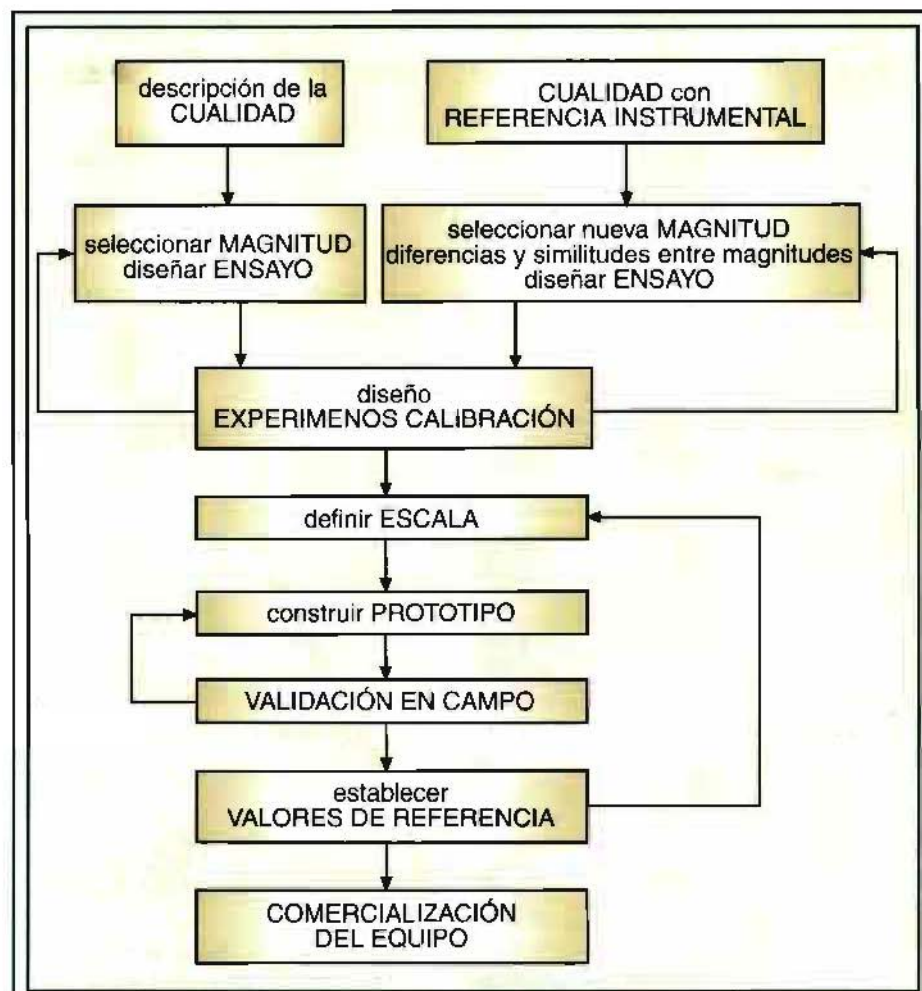
Las expectativas de los usuarios potenciales sobre los instrumentos y equipos pueden resumirse en: objetividad, facilidad de uso, sensibilidad y precisión (véase apartados sucesivos), reproductibilidad, portabilidad, rapidez, que sean no destructivos, que dispongan de valores de referencia, que sean de uso extendido (*estándares de*

facto) y de bajo coste. La asignación de prioridades a estos aspectos es función de las características específicas del usuario.

Como ejemplo: laboratorios de calidad en cooperativa o centros tecnológicos precisan un menor nivel de portabilidad/movilidad en los instrumentos que los técnicos de campo. El término "rapidez" refiere a distintos órdenes de magnitud para evaluaciones *at-line* (laboratorio, varios segundos o minutos por medida) respecto a evaluaciones *on-line* (en línea, varias medidas por segundo). Finalmente, el término "bajo coste" es asimismo enormemente dependiente del usuario final: 50.000 pts (técnicos de campo o sensores para montaje en línea) a 500.000 pts (grandes laboratorios de centrales hortofrutícolas y de Centros Tecnológicos).

Figura1:

Revisión de aspectos cualitativos que disponen actualmente de referencia instrumental

















En qué consiste el proceso de instrumentación

La instrumentación abarca todo el proceso que va desde la identificación del aspecto cualitativo que se desea determinar hasta la fabricación del instrumento, pasando por la definición de escalas y de valores de referencia (ver figura 1).

Antes de proceder a una descripción más detallada del proceso de instrumentación, es imprescindible aclarar los siguientes conceptos:

- **cualidad:** propiedad no cuantitativa y por tanto no mensurable, i.e. firmeza
- **magnitud:** propiedad cuantitativa susceptible de ser medida. Ha de ir siempre acompañada de unidades, i.e. resistencia a la penetración (N)
- **ensayo:** prueba experimental pa-

Tabla 1:
Revisión de aspectos cualitativos que disponen actualmente de referencia instrumental

cualidad magnitud	Instrumento fabricante (distribuidor)	cualidad magnitud	Instrumento fabricante (distribuidor)
color XYZ Lab L*a*b*	 Minolta (aquateknica)	jugosidad chylofel unidades chylofel (%)	 Chylofel (Copa-Technologie)
firmeza Magness-Taylor resistencia (N)	 Andilog	dulzor sólidos solubles (%)	 Atago (Hucoa-Erlöss)
firmeza Magness-Taylor sobre Máquina Universal de Ensayos resistencia (N) módulo de deformidad (N/mm)	 Stable Micro Systems (Aname)	acidez acidez valorable meq/l ó g/l de ácido málico	 Schott-Geräte (Hucoa-Erlöss)
firmeza AIR stiffness (rigidez, hz Kg ⁻³)	 KU (AWETA)	almidón (dulzor potencial) índice de lodo (-)	 Amidometer (Copa-Technologie)
firmeza impactometría módulo de deformabilidad (N/mm)	 LPF-UPM	estado fisiológico emisión etileno (nl/g h)	 Agilent Technologies
firmeza durofel unidades durofel (-)	 Durofel (copa-Technologie)	respiración CO ₂ (%) O ₂ (%)	 Abiss (Control y suministros)
turgencia deformación en punción (mm)	 LPF-UPM	aroma emisión de aromas (µmol/kg h)	 HP Agilen Technologies

ra la determinación de una magnitud, i.e. ensayo de penetración de la pulpa sin piel con vástago de 8 mm (0.5cm²). Incluye tanto las especificaciones del instrumento a emplear como el modo de utilización.

escala: definición de la distancia entre unidades consecutivas, i.e. escala lineal refiere a igual distancia entre divisiones consecutivas de una magnitud mientras que escala no lineal refiere a distancia no homogénea entre las mismas. Este punto es fundamental cuando se desea generar una salida en un instrumento similar a la percepción humana. La percepción cualitativa humana raramente es homogénea en todo el rango de variación de una cualidad.

Para poder cuantificar una cualidad es necesario recurrir a las magnitudes más relacionadas con ella. La existencia de esta relación no es siempre evidente, y por ello en ocasiones resulta muy recomendable el empleo de paneles de catadores o jueces entrenados que efectúen un análisis descriptivo de la cualidad de interés, i.e. la harnosidad en manzana implica la falta de crujiente, de dureza y de jugosidad.

La percepción humana de las cualidades no es homogénea en todo el rango de variación de las mismas, por lo que para poder cuantificarlas es necesario recurrir a otras magnitudes relacionadas con ella; esta relación no es siempre evidente

Cuando, por el contrario, existe una relación firme entre una cualidad y una magnitud i.e. firmeza y resistencia a la penetración de la pulpa (N, kg/cm²), puede producirse el empleo indistinto de ambas, ocasionando confusiones difíciles de corregir. Estas confusiones pueden llegar a limitar el desarrollo de nuevos equipos de medida basados en magnitudes alternativas. Este desarrollo de nuevos instrumentos que ya dispongan de referencia instrumental está normalmente avalado por

la búsqueda de una nueva técnica que aporte ventajas sobre la anterior: mayor rapidez, menor daño al producto, mayor fiabilidad, más portátil...

Aspectos de la calidad en frutas y hortalizas frescas

En la Tabla nº 1 se resumen distintos aspectos de la calidad en frutas y hortalizas frescas, asociando en cada caso las magnitudes e instrumentos empleados en su determinación. Todos ellos constituyen técnicas e instrumentos avalados internacionalmente y por tanto pueden ser considerados en mayor o menor medida estándares de facto;

Paralelamente a la instrumentación de cualidades propias del producto, resulta relevante la evaluación de contaminantes: plaguicidas, nitritos aunque estos aspectos no se abordan en este artículo.

La metrología es la ciencia que se encarga de la valoración de los niveles de error de un instrumento; presta atención a aspectos como la capacidad de responder a un estímulo, de repetir una medida y de obtener una buena aproximación al verdadero valor de la magnitud correspondiente

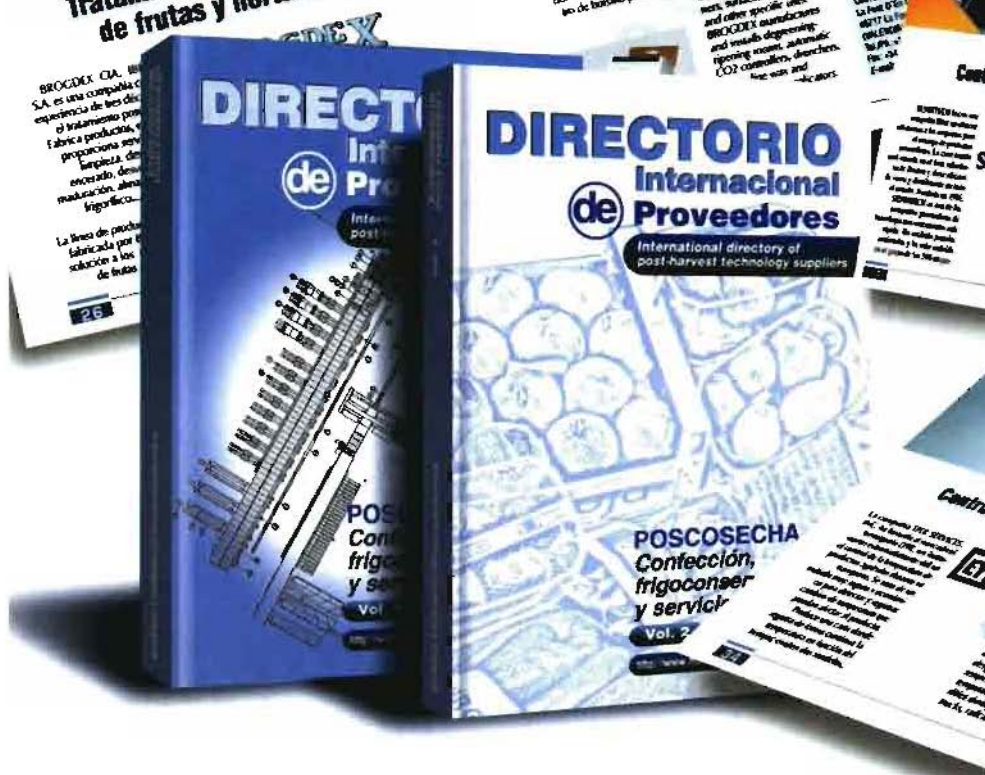
Evaluación del funcionamiento de los instrumentos

La ciencia que se encarga de la valoración y acotado de los niveles de error en un instrumento se denomina metrología. Esta ciencia aborda distintos aspectos:

- sensibilidad: capacidad de un instrumento de responder a un estímulo. En instrumentos digitales la respuesta ante estímulos externos se produce de forma escalonada. En estos casos es fundamental conocer la resolución (altura del escalón) que indica el intervalo de magnitud mínimo por debajo del cual el instrumento no es capaz de establecer diferencias.



Tratamientos poscosecha de frutas y hortalizas



- especificidad: indica el grado de selectividad respecto a estímulos diferentes de aquel que se desea medir, provenientes de la muestra en análisis. Por ejemplo, si disponemos de un instrumento para la determinación de firmeza es importante que éste no se vea afectado por efectos colaterales i.e. turgencia/deshidratación de producto. Esta es una de las pegas que se achaca en ámbitos de investigación al instrumento de firmeza por resonancia acústica, firmeza AIR.

- precisión: repetibilidad de una medida. Recíproco de la desviación típica de las medidas determinadas sobre un patrón (material de referencia)

- exactitud: grado de aproximación entre el resultado de una medida y el valor verdadero de la magnitud correspondiente. Implica la disponibilidad de un patrón con valor verdadero conocido (material de referencia certificado).

- reproducibilidad: grado de aproximación de los resultados de una serie de medidas de una magnitud efectuada con distintos métodos, instrumentos, observadores y condiciones (temperatura, humedad relativa...).

En estos aspectos metrologógicos no se incluyen las desviaciones derivadas de la variabilidad de la magnitud a determinar a lo largo del producto, i.e.

Del proceso de poscosecha depende en buena medida la calidad final del producto que se ofrece al público. Publicaciones como los dos volúmenes del Directorio de Proveedores de Poscosecha - un tercer volumen es de próxima aparición - presentan listados internacionales de empresas que realizan estos procesos y necesitan de datos fidedignos sobre el estado del producto que manipulan. Ellas son también importantes usuarios de instrumental de medida de la calidad.

puestos a analizar. Sin embargo, en la valoración de parámetros texturales destructivos: firmeza Magness-Taylor o jugosidad Chylofel, no existen patrones definidos de manera que no es posible examinar experimentalmente los aspectos metroológicos del instrumento. En estos casos, se recurre al empleo de especies y variedades muy homogéneas que permitan extrapolar la variabilidad de medidas repetidas sobre un mismo fruto como referentes del error instrumental (precisión). La valoración de la exactitud y reproducibilidad de los instrumentos se cifra en la consistencia de la información recogida a lo largo de años de utilización.

En la evaluación no destructiva de parámetros texturales i.e. firmeza AIR o firmeza por impactometría sí es posible definir patrones, i.e. bolas de caucho de distinta consistencia, para la realización de ensayos metroológicos. El hecho de que estos patrones no estén normalizados en su fabricación implica su definición como patrones de precisión (materiales de referencia interna) y no de exactitud (materiales de referencia certificados).

El usuario de un instrumento debe efectuar periódicamente una revisión del comportamiento metroológico del mismo para detectar posibles sesgos.

Aplicación diaria de las técnicas instrumentales. Muestreo

La gran mayoría de magnitudes instrumentales consideradas en la actualidad estándares de facto en la determinación de la calidad de frutas y hortalizas son: destructivas (firmeza Magness-Taylor, jugosidad Chylofel, sólidos solubles, acidez valorable, índice de almidón) o demasiado lentas (emisión de etileno, de anhídrido carbónico, o de aromas) como para poder

efectuar una evaluación completa de todas las partidas. Esto lleva a la necesidad de seleccionar una muestra sobre la partida y atribuir a la partida completa las propiedades determinadas sobre la muestra.

Existe una normativa internacional -ISO 847, UNE 34-117-81- que establece las condiciones de muestreo sobre partidas de frutas y hortalizas frescas. En ella se establecen tanto las condiciones de selección y de homogeneización de submuestras, como el tamaño mínimo para la muestra de laboratorio. Una muestra de laboratorio supone el material vegetal sobre el que se realizarán los ensayos experimentales y sobre cuya base se efectuará la extrapolación de la calidad a toda la partida. Insistimos en que este proceso de inferencia no es trivial ni evidente.

Algunos autores proponen optimizar el tiempo necesario para la evaluación de una muestra. Para ello emplean como criterio de selección del ta-

En un futuro próximo existirán sensores montados en línea para la evaluación global de partidas. La fusión de sensores es por tanto una necesidad relativamente reciente pero que se convertirá pronto en un objetivo principal de la técnica y la investigación

maño muestral la obtención de intervalos de confianza (expresados en porcentaje respecto a la media) similares para todas las magnitudes. El número de individuos por muestra, por tanto, será diferente para las distintas magnitudes dado que la variabilidad de las mismas puede ser muy diferente. Así estos mismo autores indican que en melocotones tipo nectarina a la entrada de cooperativa es necesario un número de frutos 10 veces superior para la determinación de la firmeza Magness-Taylor que para la evaluación del color mediante espectroscopía visible.

Por otra parte, la definición de las condiciones de muestreo no sólo refie-

variación del contenido en sólidos solubles dentro del fruto, ya que este aspecto refiere a la problemática de muestreo y no al modo de actuación del instrumento en sí mismo.

La ausencia de patrones (materiales de referencia) internacionalmente aceptados impide en muchas ocasiones la realización de un estudio metroológico adecuado en los instrumentos empleados para la determinación de la calidad en productos agro-alimentarios.

En determinaciones químicas: sólidos solubles, acidez valorable, aromas resulta sencillo proceder a la fabricación de patrones i.e. soluciones con concentraciones conocidas de los com-



El control de los estados fisiológicos del producto manipulado es también de importancia central durante el empaqueo o industrialización de la fruta y hortaliza.

re al número de frutos a evaluar por partida sino al establecimiento de la localización del ensayo en el fruto en los casos en que la magnitud a evaluar varíe ostensiblemente en el mismo. Así el contenido en sólidos solubles disminuye significativamente de la zonas coloreada a la no coloreada en variedades bicolor de manzana, así como con las distancia relativa al corazón (disminución gradual hacia el interior).

El concepto de la fusión de sensores en instrumentación de la calidad

Del breve resumen efectuado hasta el momento es evidente la existencia de un conjunto muy variado de sensores/instrumentos capaces de evaluar distintos aspectos de la calidad en frutas y hortalizas frescas. En un futuro a medio plazo existirán sensores montados en línea que permitan la evaluación global de partidas. La fusión de sensores es por tanto una necesidad relativamente reciente pero que promete convertirse en un objetivo primordial.

El primer efecto de la disponibilidad de un número cada vez mayor de sensores montados en línea será el incremento en la categorización del producto. Cabe plantearse por tanto cuál es el número máximo de categorías que es factible ofertar al consumidor. En este sentido, algunos investigadores proponen realizar una integración jerárquica de la información de los distintos instrumentos que mimetice los criterios de asignación de prioridades del consumidor.

Algunos instrumentos y sensores son susceptibles de aportar circunstancialmente valores erráticos. En estos casos debe valorarse la posibilidad de determinación de rangos de aceptación de las medidas fuera de los cuales se establecerá la existencia de un fallo instrumental, i.e. un melocotón no puede pesar 20g. Otra posibilidad que actualmente esta en estudio es el empleo de información adicional proveniente de otros instrumentos o sensores con el fin de valorar el grado de concordancia. Así, dentro de un lote y sobre la

base de experiencias previas puede esperarse una concordancia entre magnitudes i.e. alto nivel de azúcares y firmeza baja. La aparición de individuos atípicos permitiría disparar la alerta de un posible fallo instrumental. Este tipo de evaluaciones será cada vez más importante en determinaciones on-line donde la elevada velocidad de procesamiento incrementará el nivel esperado de medidas erráticas.

Finalizamos la revisión de los distintos aspectos que refieren a la instrumentación de la calidad con la siguiente reflexión:

existe en la actualidad una gran diversidad de instrumentos que aportan información relevante en relación con la calidad de frutas y hortalizas frescas: color, textura, sabor, aroma y estado fisiológico general. La selección de los equipos debe efectuarse tanto en función de los aspectos cualitativos a evaluar, como en función de restricciones de uso y presupuesto. Quedan éstos últimos pendientes de un estudio más detallado.